

# 基于博弈理论的经济网格资源配置研究

林晓鹏<sup>1 2</sup>

(1. 厦门海洋职业技术学院 福建 厦门 361012;

2. 厦门大学 物理系 福建 厦门 361005)

**摘 要:** 针对经济网格中,由于网格系统的复杂性和用户的私利性,使得网格用户在资源竞价过程中往往因相关信息的匮乏而导致资源竞价的盲目性问题,根据重复博弈分阶段执行的特点,将网格用户间对网格资源的竞争看作多阶段的重复博弈过程。用户依据前一阶段博弈的竞价价值及竞价结果对当前阶段的竞价策略进行调整,通过有限次的阶段博弈达到均衡出价策略组合,实现用户最大效用下的资源分配。仿真表明,在不完全信息的网格环境中,该竞价模型可逐步改善网格用户的资源竞价策略,实现优化目标最大化下的网格资源分配。

**关键词:** 网格计算; 资源分配; 重复博弈

中图分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2012)10-0031-04

## Research on Resources Allocation in Economic Grid Based on Game-theoretic

LIN Xiao-peng<sup>1 2</sup>

(1. Xiamen Ocean Vocational College, Xiamen 361012, China;

2. Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** In order to avoid the blindness and casualness in bidding grid resource because of system complexity and selfish behaviors of individual in economic grid environment, a bidding algorithm based on repeated game which consists in some number of repetitions of some base game is presented. The grid users adjust bidding strategy for grid resources according to the payoff of previous bidding stage with incomplete information, the approximate equilibrium bidding strategies can be achieved in finitely repeated game. The simulation result shows that the algorithm improves the user's bidding strategy in economic grid and the maximum efficient equilibrium payoff can be reached.

**Key word:** grid computing; resource allocation; repeated game

## 0 引言

在网格环境中,鉴于网格用户和网格资源的自治性,而传统的基于系统整体性能最优化的资源配置方法难以适用于网格环境中,出现了用经济原理来管理和规划网格资源的方法<sup>[1-2]</sup>,采用经济学中商品市场机制和拍卖机制进行网格资源管理的研究工作,对网格经济体系结构<sup>[3]</sup>、基于市场机制的定价方式<sup>[4-5]</sup>,以及资源的单向<sup>[6]</sup>、双向和组合拍卖机制<sup>[7-8]</sup>等问题进行了讨论和分析。

但基于市场机制的资源往往认为资源市场是完全竞争的,忽略了用户个体对定价的影响,不符合网格环

境的实际情况。而拍卖方式往往是采用出价高者获得独自占用资源使用权的方式,虽然资源使用者从中可获得最大收益,但大部分网格用户的利益没有得到考虑,违背了建设网格的初衷,且其资源利用率也有待商榷。还有些研究将资源分配看作一个博弈过程<sup>[9-10]</sup>,在竞争或合作的前提下分析用户行为对资源分配的作用<sup>[11-12]</sup>,但这些研究要求网格用户在资源分配过程中要获得与资源配置有关的完全信息,如资源使用者或其他用户的效用函数,其他用户的资源使用策略空间等,而在实际动态的网格环境中,这些信息是难以获得的。

文中建立以用户效用为中心的网格资源配置模型,将网格用户对稀缺性资源的竞争看作一个多阶段的重复博弈,分析在不完全信息下用户的竞价策略调整过程。用户通过前阶段的博弈结果分析和预测其他用户竞价情况,并根据优化目标调整下一阶段的出价,

收稿日期: 2012-02-04; 修回日期: 2012-05-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60753001); 教育部专项科研基金资助项目(20090121110019)

作者简介: 林晓鹏(1972-),男,福建平潭人,讲师,博士,CCF会员,研究方向为网络资源管理。

通过有限次的博弈阶段获得出价策略的均衡组合,优化用户目标。

## 1 用户的效用函数

设有  $N$  个用户竞争  $M$  个有限的资源,每个用户有  $M$  个与资源相对应的串行任务。用户用一个正的价格表示对资源的需求,以预算范围内最小化任务执行时间为优化目标,所有用户按出价比例共享资源,即用户相对出价越高,则可使用的资源份额越大,各参数定义如下:

$\{R_k\}$  为各资源的计算能力。用户  $i$  的任务序列为  $\{q_i^k\}$ ,其中  $q_i^k$  表示用户  $i$  需在资源  $R_k$  上执行的任务,且在  $q_i^{k-1}$  完成之后  $q_i^k$  才能执行。用户  $i$  的总预算为  $C_i$ 。用户  $i$  的出价序列为  $\{c_i^k\}$ ,  $c_i^k$  表示用户  $i$  对资源  $k$  的出价。第  $k$  个资源上所有用户的支付为  $C^k$ 。用户  $i$  在资源  $R_k$  上的出价比例为  $a_{ik}$ 。

$t_{ip}^k$ 、 $t_{ic}^k$ 、 $t_i^k$  分别表示任务  $q_i^k$  在资源  $k$  上的执行时间、相关数据传输时间和完成时间,为简化分析,设输出数据的长度与任务大小成比例关系,传输能力为  $B$ ,则  $t_{ic}^k = \frac{Sq_i^k}{B}$ ,  $t_i^k = t_{ip}^k + t_{ic}^k$ 。

在预算允许的前提下,用户以任务完成时间为优化目标,即其效用为:

$$\begin{cases} \min \sum_{k=1}^M t_i^k \\ \text{s. t. } \sum_{k=1}^M c_i^k \leq C_i \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

## 2 用户出价的相关度

由于资源是按出价比例分配,在其它用户出价不变的情况下,则理性用户  $i$  可通过增加出价来提高所获得的资源比例以优化任务的执行时间,即均衡时

$$\sum_{k=1}^M c_i^k = C_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)。$$

定义 1: 用户  $i$  的出价  $c_i^k$  和  $c_i^1$  之间的关系称为用户  $i$  出价的相关度关系,表示为:

$$c_i^k = f_k(c_i^1) \quad \left( \sum_{k=1}^M c_i^k \leq C_i, 2 \leq k \leq M \right)$$

用户  $i$  以出价  $c_i^k$  在第  $k$  个资源上运行任务  $q_i^k$ ,分配到的资源为:

$$r_i^k = a_{ik} R_k = R_k \frac{c_i^k}{C^k} \quad (2)$$

任务  $q_i^k$  的运行时间为:

$$t_{ip}^k = \frac{q_i^k}{r_i^k} = \frac{q_i^k}{R_k \frac{c_i^k}{C^k}} = \frac{q_i^k C^k}{R_k c_i^k} = \frac{q_i^k (C_{-i}^k + c_i^k)}{R_k c_i^k} \quad (3)$$

其中:  $C_{-i}^k = \sum_{j=1, j \neq i}^N c_j^k$  与  $c_i^k$  无关。

任务完成总时间为:

$$t_i^k = t_{ip}^k + t_{ic}^k = \frac{q_i^k (C_{-i}^k + c_i^k)}{R_k c_i^k} + \frac{Sq_i^k}{B} \quad (4)$$

则根据 lagrange 乘子法,可构建一个新函数:

$$L_i(c_i^k) = \sum_{k=1}^M t_i^k + \lambda \left[ \left( \sum_{k=1}^M c_i^k \right) - C_i \right]$$

该函数与  $T_i(c_i^k)$  是等效的,其中  $\lambda$  为 lagrange 乘子,则均衡时  $\frac{\partial L_i}{\partial c_i^k} = 0$ ,可得  $\lambda = \frac{q_i^k C_{-i}^k}{R_k (c_i^k)^2}$ 。

根据上式可得用户  $i$  在资源  $k$  和资源  $l$  上的出价  $c_i^k$ 、 $c_i^l$  满足关系式:

$$\frac{c_i^k}{c_i^l} = \sqrt{\frac{q_i^k C_{-i}^k R_l}{q_i^l C_{-i}^l R_k}} \quad (5)$$

令  $l = 1$ ,得出用户  $i$  的出价相关度为:

$$c_i^k = c_i^1 \sqrt{\frac{q_i^k C_{-i}^k R_1}{q_i^1 C_{-i}^1 R_k}} \quad (2 \leq k \leq M) \quad (6)$$

定义 2: 用户  $i$  的出价  $c_i^1$  称为基准出价。

从约束条件  $\sum_{k=1}^M c_i^k - C_i = 0$  及式 (6) 可得:

$$\begin{aligned} c_i^1 &= \frac{C_i}{1 + \sum_{k=2}^M \left[ \sqrt{\frac{q_i^k C_{-i}^k R_1}{q_i^1 C_{-i}^1 R_k}} \right]} \\ &= \frac{C_i}{1 + \sqrt{\frac{R_1}{q_i^1 C_{-i}^1}} \left( \sum_{k=2}^M \sqrt{\frac{q_i^k C_{-i}^k}{R_k}} \right)} \end{aligned} \quad (7)$$

## 3 用户出价策略的重复博弈

重复博弈  $G$  是由一系列博弈阶段构成,令  $G^{(n)}$  表示博弈的第  $n$  个阶段。在用户理性前提下,无论前阶段博弈结果如何,在本阶段用户都将采用最有利于自己的策略,经过一序列的博弈阶段达到均衡出价组合。

在博弈的开始阶段  $G^{(0)}$ ,用户初始出价可取  $c_i^{(0)1}$   $= \frac{p_i^1}{\sum_{k=1}^M p_i^k} C_i$ ,即按任务序列中各任务的长度比例分配

预算,也可在不超出预算的前提下以历史单价作为初始出价;在本阶段博弈完成之后,用户可以从自己所获得资源数量分析该资源负载情况,并根据优化目标在下一阶段博弈中对出价进行调整,算法如下:

算法 1: RepeatedGameAllocation

Input:  $C_i, \{q_i^k\}, \{R\}$ ; Output:  $\{c_i^k\}$

① Initialization:

For all grid user calculate

$$c_i^{(0)1} \leftarrow \frac{p_i^1}{\sum_{k=1}^M p_i^k} C_i \quad c_i^{(0)k} \leftarrow c_i^{(0)1} \sqrt{\frac{q_i^k C_{-i}^k R_1}{q_i^1 C_{-i}^1 R_k}},$$

$$T_i^{(0)}(c_i^{(0)k})$$

② For all grid user calculate

$$c_i^{(n)1}, c_i^{(n)k}, T_i^{(n)}(c_i^{(n)k})$$

③ For all grid user

$$\text{If } |T_i^{(n)} - T_i^{(n-1)}| < \varepsilon$$

output  $\{c_i^{(n)k}\}$  and goto step④

else

$$c_i^{(n-1)1} \leftarrow c_i^{(n)1}, c_i^{(n-1)k} \leftarrow c_i^{(n)k},$$

goto step②

④ end

#### 4 资源共享比例动态调整

得到均衡出价组合后,各用户按出价比例 $\{a_{ik}\}$ 在每个机器上获得一定的资源并执行任务。因任务大小差异及所分配资源比例不同,因此每个任务所执行时间也不相同,任务完成之后释放相应的资源,释放出来的资源处于空闲状态,若将空闲资源在未完成的任务间进行二次分配,则可以进一步优化用户目标,提高系统资源利用率。

设资源  $k$  上有四个用户的任务,各任务的执行时间如图 1(a) 所示,若在任务执行过程中资源比例  $a_{ik}$  保持不变,则在时间区间  $[T_0, T_1]$  所有任务都在执行,资源利用率为 100% ( $\sum_{i=1}^4 a_{ik} = 1$ ); 而在时间区间  $[T_1, T_2]$ , 资源利用率为  $a_{1k} + a_{3k} + a_{4k}$ , 在时间区间  $[T_2, T_3]$  和  $[T_3, T_4]$  资源利用率分别为  $a_{3k} + a_{4k}$  和  $a_{4k}$ 。可见,由于任务完成之后所释放的资源没有得到利用而处于空闲,导致资源的利用率逐渐下降,如图 1(b) 所示。可以采用资源比例动态调整的方法,当有空闲资源时将该资源在未完成的任务之间进行二次分配。

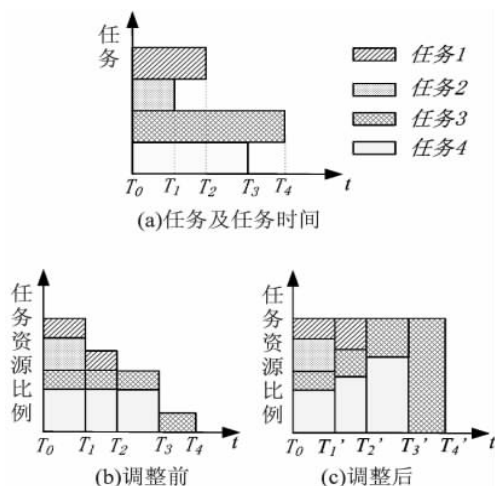


图 1 用户资源共享比例的动态调整

设当前资源  $k$  上用户  $j$  完成任务,用户集合为  $S$ , 则对于  $i \in S$ , 且  $i \neq j$ , 用户  $i$  的资源共享比例调整为

$$\frac{a_{ij}}{\sum_{i \in S, i \neq j} a_{ik}}. \text{ 随着任务的执行, } S \text{ 中的元素将逐渐减少, 则}$$

剩余任务所分配的资源比例逐步增大,可进一步缩短任务执行时间,从式(1)可知用户的效用得到提高,而且可提高资源的利用率,系统的整体性能得到改善,如图 1(c) 所示。调整算法如下:

算法 2: DynamicalProportion

① Initialization:  $S, j$

② For all  $i \in S$ , 且  $i \neq j$   $a_{ik} \leftarrow \frac{a_{ik}}{\sum_{i \in S, i \neq j} a_{ik}}$

③ delete  $j$  from  $S$

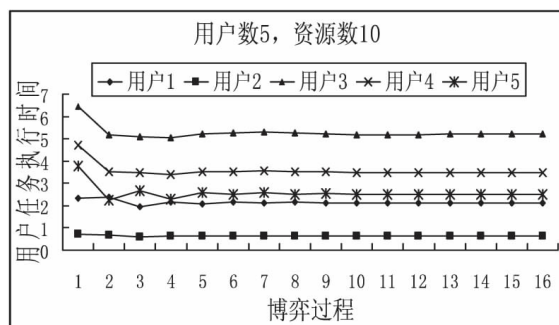
Output  $a_{ik}$

④ end

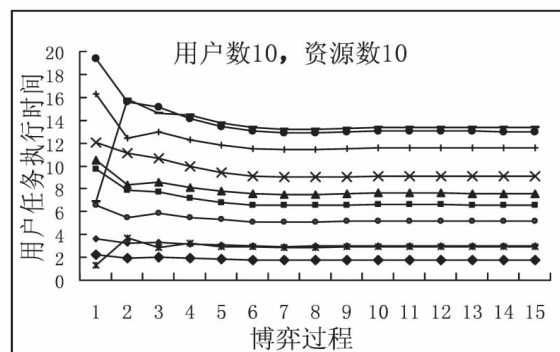
#### 5 仿真研究

##### 5.1 仿真模型

对基于重复博弈按比例共享资源的算法运用 Gridsim 软件包进行仿真,构建了资源、GIS、用户、broker 等网格实体,可用计算资源数为 10,资源的能力、用户任务长度和用户总预算为随机数,取值范围分别为 1000 ~ 5000 (MIPS)、0 ~ 5000 (MIP)、100 ~ 400 GCU (Grid Currency Unit),得到的重复博弈各阶段用户任务执行时间如图 2 所示。



(a) 用户数为 5, 资源数为 10



(b) 用户数为 20, 资源数为 10

图 2 按出价比例重复博弈过程

## 5.2 结果分析

从图 2 仿真结果可以看到,当用户数量少时,用户之间的相互影响相对明显,用户的出价策略容易受其他用户策略的影响,经过数个对出价作较大幅度调整的博弈阶段后,用户出价组合较快逼近均衡点;而在用户数量较大时,在博弈开始后由于各用户都要对初始出价进行调整,而且由于用户数量大,单个用户价格改变对整体影响力减弱,因此用户出价策略的收敛速度较慢。

与 SJFS( Small Job First Service) 算法相比,文中的资源分配算法对改善用户任务执行性能方面得到加强,克服了由于用户任务序列中各个任务长度有较大差异时,长任务执行会受到其他用户小的任务影响,从而使用户总体任务执行效率降低的问题,使得用户任务的总执行时间得到不断改善,优化整个系统性能。与费用约束算法相比较,克服了由于部分用户费用不足导致无法分配到资源的情况,体现了资源分配的公平性,如图 3 所示。

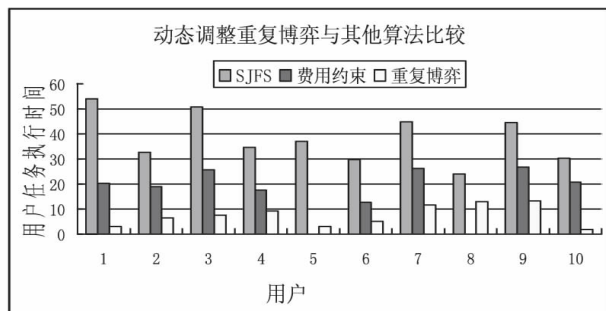


图 3 重复博弈与其它算法的性能比较

## 6 结束语

文中将网格用户出价策略的形成过程转换成多用户重复博弈的问题,提出了基于重复博弈按出价比例分配网格计算资源的模型、用户出价策略的求解方法和算法实现。重复博弈的每个阶段由用户出价、获得资源、分析预测、价格调整等环节组成。用户可在每个博弈阶段通过对所获资源比例得到资源负载的相关信息,分析其他用户在出价等信息,依此对自身下一阶段的出价进行优化调整,使用户的出价策略逐步逼近均衡出价策略组合。同时用户按出价比例共享资源,克

服了市场机制和拍卖机制模型中部分用户无法获得资源的问题,在实现用户所期望的资源优化分配时,兼顾资源分配的公平性。

### 参考文献:

- [1] 林晓鹏, 郭东辉. 基于经济机制的网络资源调度分析[J]. 信息与电子工程, 2010, 8(4): 495-499.
- [2] 黄智维, 倪子伟. 网格计算环境下资源管理的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(3): 199-204.
- [3] Buyya R, Abramson D, Giddy J. A case for economy grid architecture for service-oriented grid computing[C]//Proc. of the 10th Heterogeneous Computing Workshop( HCW 2001). San Francisco, California, USA: [s. n.], 2001: 776-790.
- [4] Parsa S, Shokri A, Nourossana S. A novel market based grid resource allocation algorithm[C]//Proceedings of the 1th International Conference on Networked Digital Technologies, ( NDT 09). [s. l.]: [s. n.], 2009: 146-152.
- [5] 翁楚良, 陆鑫达. 一种基于市场机制的网格资源调价算法[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(7): 1151-1156.
- [6] Waldspurger C A, Hogg T, Huberman B A, et al. Spawn: A distributed computational economy[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 1992, 18(2): 103-117.
- [7] Regev O, Nisan N. The Popcorn market - An online markets for computational resources[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Information and Computation Economics. Charleston: [s. n.], 1998: 148-157.
- [8] 李立, 刘元安, 冯晓雷. 基于组合双向拍卖的网格资源分配[J]. 电子学报, 2009, 37(1): 165-169.
- [9] 冯·诺依曼, 摩根斯坦恩. 博弈论和经济行为[M]. 上海: 三联书店, 2004.
- [10] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 2004.
- [11] Kwok Y K, Song S S, Hwang K. Selfish grid computing: game-theoretic modeling and NAS performance results[J]. IEEE Transaction on Parallel and Distributed System, 2007, 18(5): 349-356.
- [12] Khan S U, Ahmad I. Non-cooperative, semi-cooperative and cooperative games-based grid resource allocation[C]//Proceedings of the 20th IEEE International Parallel & Distributed Process Symposium. Rhodes Island, Greece: [s. n.], 2006: 25-29.

(上接第 30 页)

- 计算机技术与发展, 2010, 20(2): 25-29.
- [11] 刘晓莹. 应用于无线局域网的高速维特比译码器电路[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(6): 11-13.
- [12] Shu Lin. Channel Codes Classical and Modern[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

- [13] Cui Zhiqiang. Low-complexity High-speed VLSI Design of Low-density Parity-check Decoders[D]. Oregon: Oregon State University, 2007.
- [14] CCSDS 标准 131.1-O-2[S]. 2007.